

# Regionální oběhy

(plicní, kožní, svalový, mozkový,  
splachnický, renální, fetální)

doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.

Fyziologický ústav, Lékařská fakulta, Masarykova univerzita



**Tato prezentace obsahuje pouze stručný  
výťah nejdůležitějších pojmů a faktů. V  
žádném případě není sama o sobě  
dostatečným zdrojem pro studium ke  
zkoušce z Fyziologie.**

# Specifika oběhu orgány

- Jeden orgán může mít i dvojí přítok krve, jeden orgán vyživuje a druhý tvoří funkční oběh.
- různé formy anatomické a funkční adaptace řečiště zajišťující optimální funkci orgánu
- různý význam jednotlivých forem regulace cévního tonu a tedy krevního průtoku v jednotlivých orgánech

# Plicní oběh

# Plicní oběh

- Průtok plícemi je prakticky téměř stejný jako průtok všemi ostatními orgány.
- **Funkce:**
  - zprostředkování výměny dýchacích plynů
  - rezervoár krve
  - filtr

# Plicní oběh

- **Tepny** (rozdíly oproti tepnám velkého oběhu)
  - větší celkový průřez
  - menší tloušťka stěn, tenká svalová vrstva
  - velká poddajnost (*compliance*)
- **Kapiláry**
  - široké, bohaté anastomózy, síť obklopující alveoly
  - čas průtoku, plocha perfundovaných kapilár v klidu a při zátěži
- **Žíly**
  - velká poddajnost (rezervoár krve; ortopnoe)

Krevní tlak v plicním řečišti

# Plicní oběh

- **Výživový oběh**

fyziologický A-V zkrat

- **Lymfatické cévy**

- rychlý transport bílkovin a různých částic z peribronchiálního a perivaskulárního prostoru → ↓ tvorba tkáňového moku ~ předcházení vzniku otoku plic

Fyziologicky v plicních kapilárách k filtraci nedochází!

1. tlakové poměry v intersticiu a plicních kapilárách
2. permeabilita plicních kapilár

# Plicní oběh

- Regulace plicního oběhu
  - A. Systémové mechanismy
    - 1) Nervová regulace  
(sympatikus a parasympatikus)
    - 2) Humorální regulace (cirkulující působky)
  - B. Lokální mechanismy
    - chemická (metabolická) autoregulace  
reakce opačná než ve velkém oběhu (vazokonstrikce)
  - C. Pasivní faktory
    - srdeční výdej
    - gravitace (distribuce krve v plicích)



# Plicní oběh

- Poměr ventilace a perfúze

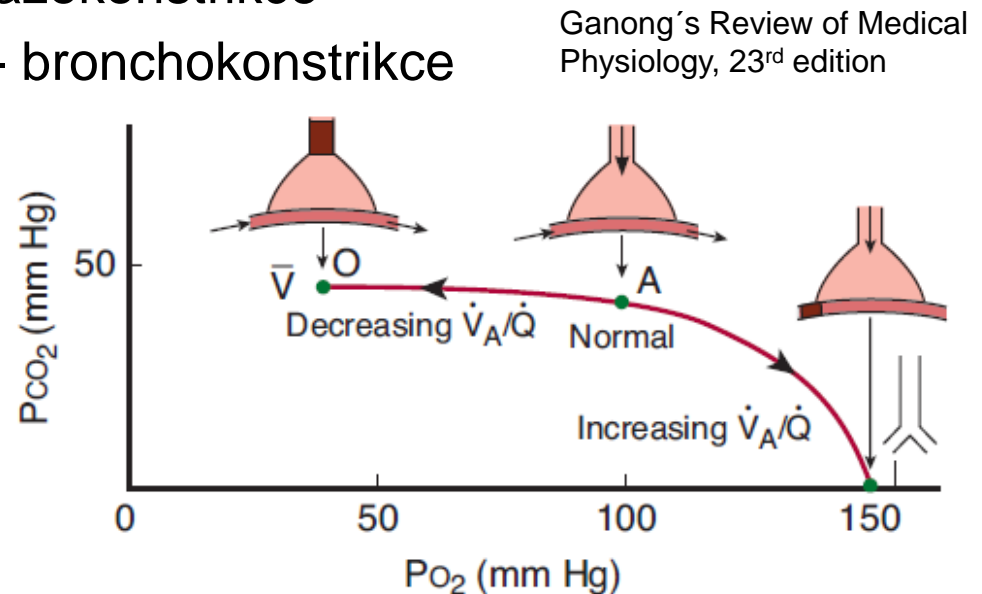
- snaha zachovat konstantní (lokální metabolická autoregulace)

neventilovaný alveolus - vazokonstrikce

neperfundovaný alveolus - bronchokonstrikce

- pokles poměru - v klinice nejčastější příčinou hypoxické hypoxie (pravo-levý zkrat) → ↓ saturace arteriální krve  $O_2$

- obsah  $CO_2$  obvykle není změněn (kompenzační hyperventilace v ostatních alveolech)



# Kožní oběh

# Kožní oběh

- Průtok krve kůží velmi kolísá (0,02 až 5 l/min).

## Funkce:

- Metabolické potřeby kůže – malé (*decubitus*)

- **Udržování teploty tělesného jádra**

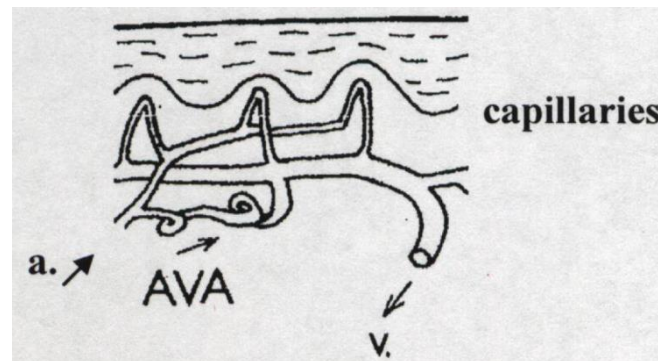
poikilothermní tkáň

## Arteriovenosní anastomosy

- **Ochrana proti prostředí**
- **Udržení středního arteriálního tlaku**

# Kožní oběh

- **Arteriovenosní anastomozy**
  - jde o svinuté svalové cévy přímo spojující arterioly a venuly (nízkoodporový zkrat)



Honzíková N - Poznámky k přednáškám z fysiologie (1992)

- průtok řízen sympatickými vazokonstrikčními nervy

# Skin Circulation

- Regulace průtoku krve kůží:
  - Sympatická nervová vlákna
  - Humorální – lokální faktory  
(histamin, serotonin)

# Kožní oběh

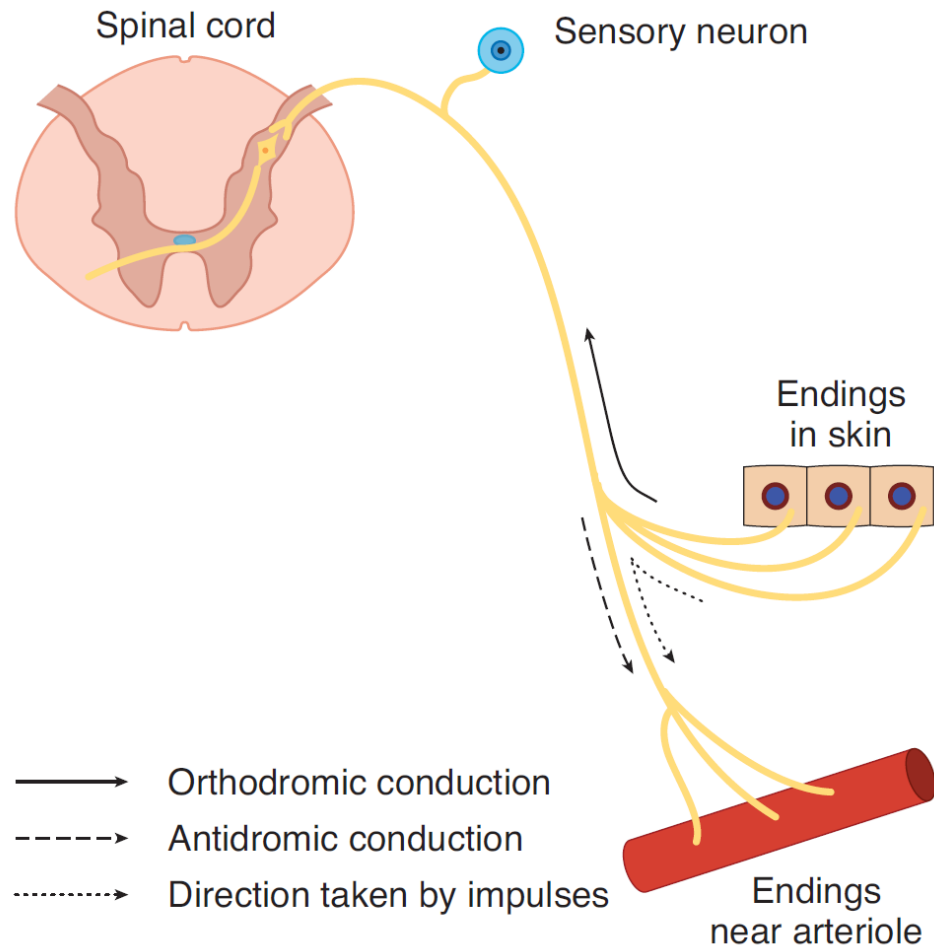
- Odpověď na změny teploty:
  - 1) přímé ovlivnění cévního tonu okolní teplotou
  - 2) dráždění kožních teplotních receptorů
  - 3) dráždění teplotních receptorů v mozku



reflexní modulace  
sympatické vazokonstrikční aktivity

# Kožní oběh

- Axonový reflex



Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.

# Svalový oběh



# Svalový oběh

- Funkce:

- 1) Krevní zásobení svalu

klidový průtok – 18 % srdečního výdeje vs. až 90 % při maximální práci (lokální průtok se ↑ až 20x)

- 2) Regulace krevního tlaku

kosterní svaly – 40 % hmotnosti těla → cévní odpor svalového řečiště má velký vliv na celkový periferní odpor

- Průtok během svalové práce je intermitentní, během tetanického stahu až nulový (kyslíkový dluh).

# Svalový oběh

- Regulace krevního průtoku ve svalech:

## 1) Nervová regulace

převládá v klidu (vazokonstrikce přes sympatikus – velká dilatační rezerva)

## 2) Lokální chemická regulace

převládá během cvičení (metabolická vazodilatace)

téměř lineární vzestup průtoku se vzrůstající metabolickou aktivitou

zvýšený průtok + zvýšená extrakce  $O_2$

současně  $\uparrow$  kapilárního tlaku +  $\uparrow$  osmolarita  $\rightarrow$   
 $\uparrow$  filtrace  $\rightarrow$  otok v pracujících svalech

# Mozková cirkulace

# Mozková cirkulace

**TABLE 34–1** Resting blood flow and O<sub>2</sub> consumption of various organs in a 63-kg adult man with a mean arterial blood pressure of 90 mm Hg and an O<sub>2</sub> consumption of 250 mL/min.

Region	Mass (kg)	Blood Flow		Arteriovenous Oxygen Difference (mL/L)	Oxygen Consumption		Resistance (R units) <sup>a</sup>		Percentage of Total	
		mL/min	mL/100 g/min		mL/min	mL/100 g/min	Absolute	per kg	Cardiac Output	Oxygen Consumption
Liver	2.6	1500	57.7	34	51	2.0	3.6	9.4	27.8	20.4
Kidneys	0.3	1260	420.0	14	18	6.0	4.3	1.3	23.3	7.2
Brain	1.4	750	54.0	62	46	3.3	7.2	10.1	13.9	18.4
Skin	3.6	462	12.8	25	12	0.3	11.7	42.1	8.6	4.8
Skeletal muscle	31.0	840	2.7	60	50	0.2	6.4	198.4	15.6	20.0
Heart muscle	0.3	250	84.0	114	29	9.7	21.4	6.4	4.7	11.6
Rest of body	23.8	336	1.4	129	44	0.2	16.1	383.2	6.2	17.6
Whole body	63.0	5400	8.6	46	250	0.4	1.0	63.0	100.0	100.0

<sup>a</sup>R units are pressure (mm Hg) divided by blood flow (mL/s).

Reproduced with permission from Bard P (editor): *Medical Physiology*, 11th ed. Mosby, 1961.

Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.



# Mozková cirkulace

- musí zajistit:
  - 1) **konstantní dostatečný přísun krve**  
(ztráta vědomí během několika sekund mozkové ischemie, ireverzibilní poškození během několika minut)
  - 2) **dynamickou redistribuci krve**  
(metabolická hyperémie)

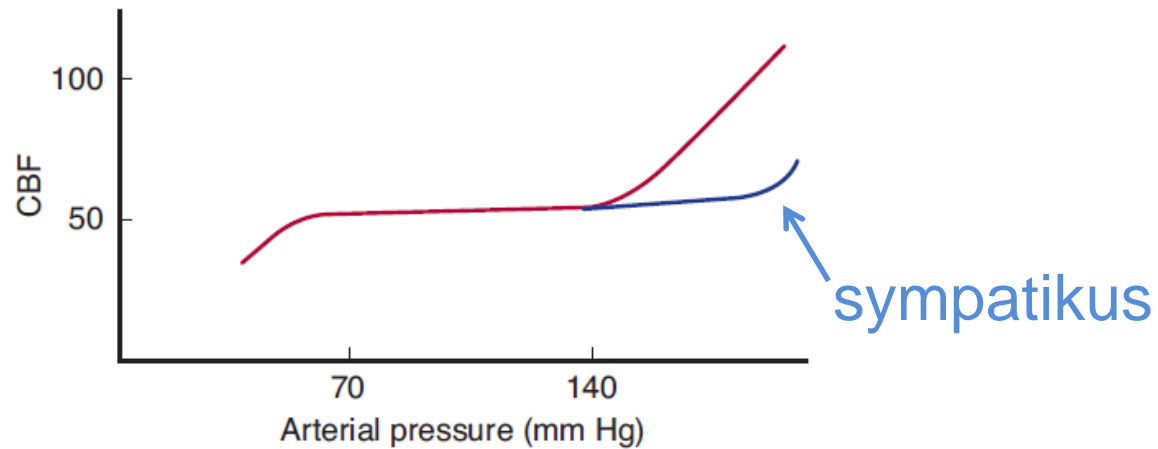
# Mozková cirkulace

- Anatomické zvláštnosti mozkové cirkulace:
  - 1) *circulus arteriosus cerebri*  
(propojení hlavních mozkových tepen anastomózami)
  - 2) **velmi vysoká kapilarizace**  
(3000 – 4000 kapilár / mm<sup>2</sup> šedé hmoty)  
~ minimalizace difúzní dráhy pro plyny i jiné látky
  - 3) **velmi krátké arterioly**  
(téměř 1/2 cévního odporu připadá na artérie, které jsou bohatě inervovány)

# Mozková cirkulace

- Funkční adaptace mozkové cirkulace:
  - 1) vysoký a stabilní průtok krve
  - 2) vysoká extrakce kyslíku
  - 3) dobře vyvinutá autoregulace (myogenní i metabolická)
  - 4) vysoká reaktivita na změny koncentrace  $\text{CO}_2$
  - 5) lokální vs. celková hypoxie
  - 6) inervace

# Mozková cirkulace



Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.



# Mozková cirkulace

- Zvláštní fyzikální podmínky mozkové cirkulace:

## 1) pevný obal mozku lebkou

Monro-Kelliova teorie

→ zvýšení průtoku se může uskutečnit pouze zrychlením krevního toku, nikoliv zvětšením kapacity řečiště

→ Cushingův reflex (nádor, krvácení)

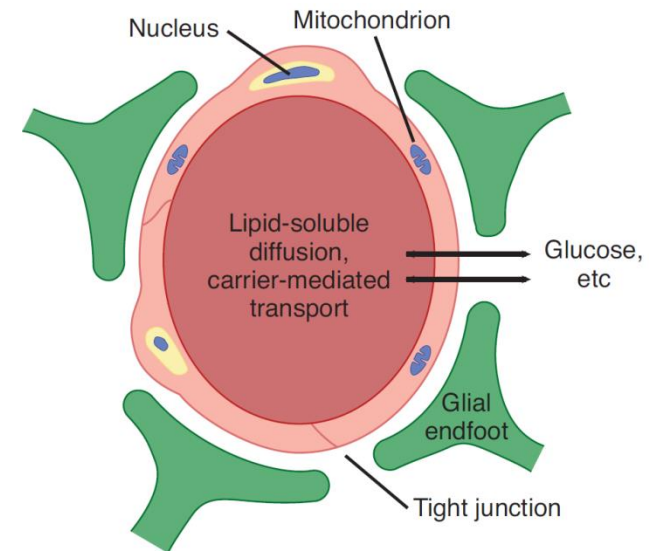
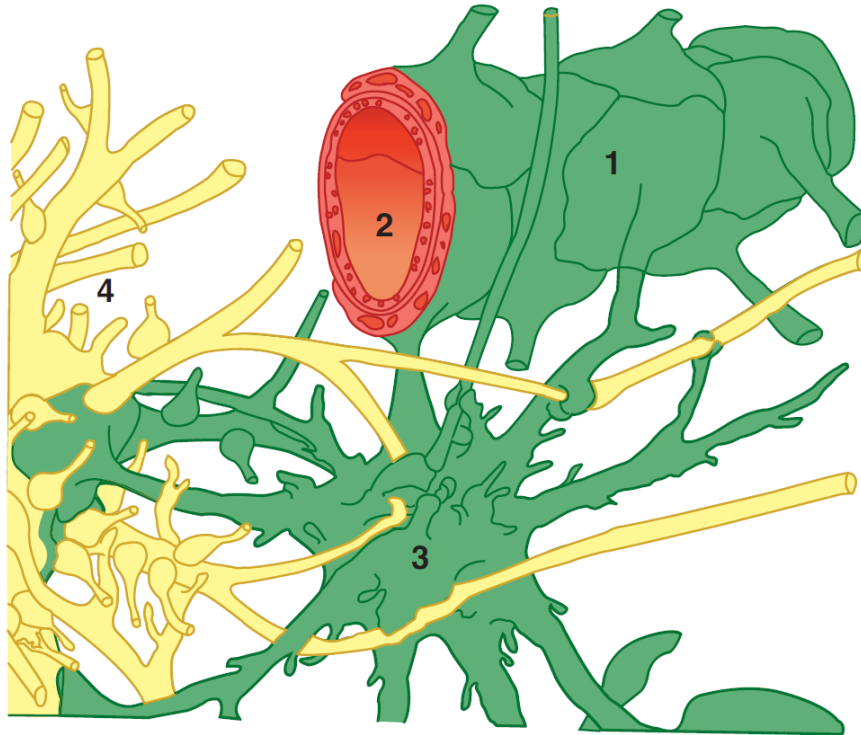
## 2) gravitace

ortostáza (posturální synkopa)

# Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

mozkové kapiláry – těsné interendotelové spoje



Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

# Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

## Volně difundují:

→ **látky rozpustné v tucích** ( $O_2$ ,  $CO_2$ , xenon; nevázané formy steroidních hormonů)

→ **voda** (aquaporiny; osmolalita krve a mozkomíšního moku je stejná!)

→ **glukóza** – hlavní zdroj energie pro nervové buňky (volná difúze pomalá - urychleno díky GLUT)

## Transcelulárním transportem (regulovaně):

→ **ionty** (např.  $H^+$ ,  $HCO_3^-$  vs.  $CO_2$  !)

→ dále transportéry pro **hormony štítné žlázy**, některé organické kys., cholin, prekurzory nukleových kys., aminokyseliny, ...

# Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra
  - Funkce:
    - udržení konstantního složení prostředí obklopujícího neurony
    - ochrana mozku před endogenními i exogenními toxiny
    - prevence úniku neurotransmitterů do cirkulace

# Mozková cirkulace

- **Mozkomíšní mok**
  - lokalizace
  - složení
  - objem ~150 ml,  
rychlost tvorby ~550 ml/d  
(výměna 3,7x/den)

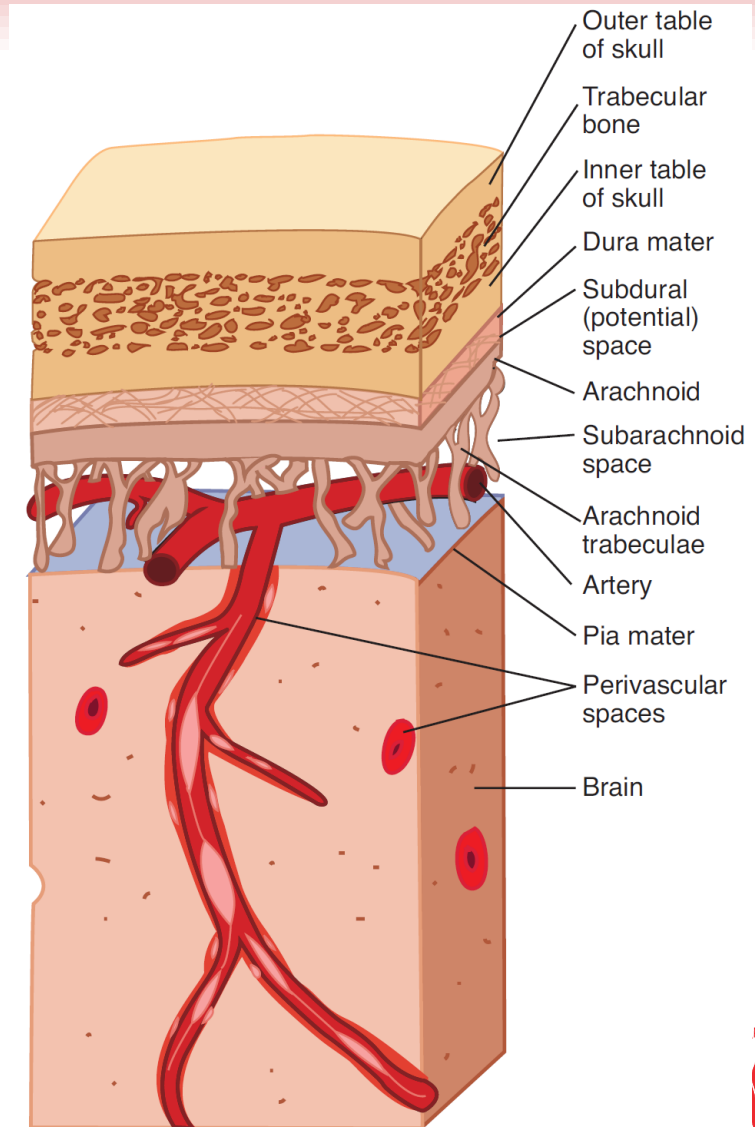
Substance		CSF	Plasma	Ratio CSF/Plasma
Na <sup>+</sup>	(meq/kg H <sub>2</sub> O)	147.0	150.0	0.98
K <sup>+</sup>	(meq/kg H <sub>2</sub> O)	2.9	4.6	0.62
Mg <sup>2+</sup>	(meq/kg H <sub>2</sub> O)	2.2	1.6	1.39
Ca <sup>2+</sup>	(meq/kg H <sub>2</sub> O)	2.3	4.7	0.49
Cl <sup>-</sup>	(meq/kg H <sub>2</sub> O)	113.0	99.0	1.14
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(meq/L)	25.1	24.8	1.01
PCO <sub>2</sub>	(mm Hg)	50.2	39.5	1.28
pH		7.33	7.40	...
Osmolality	(mosm/kg H <sub>2</sub> O)	289.0	289.0	1.00
Protein	(mg/dL)	20.0	6000.0	0.003
Glucose	(mg/dL)	64.0	100.0	0.64
Inorganic P	(mg/dL)	3.4	4.7	0.73
Urea	(mg/dL)	12.0	15.0	0.80
Creatinine	(mg/dL)	1.5	1.2	1.25
Uric acid	(mg/dL)	1.5	5.0	0.30
Cholesterol	(mg/dL)	0.2	175.0	0.001

# Mozková cirkulace

- **Mozkomíšní mok**

Funkce:

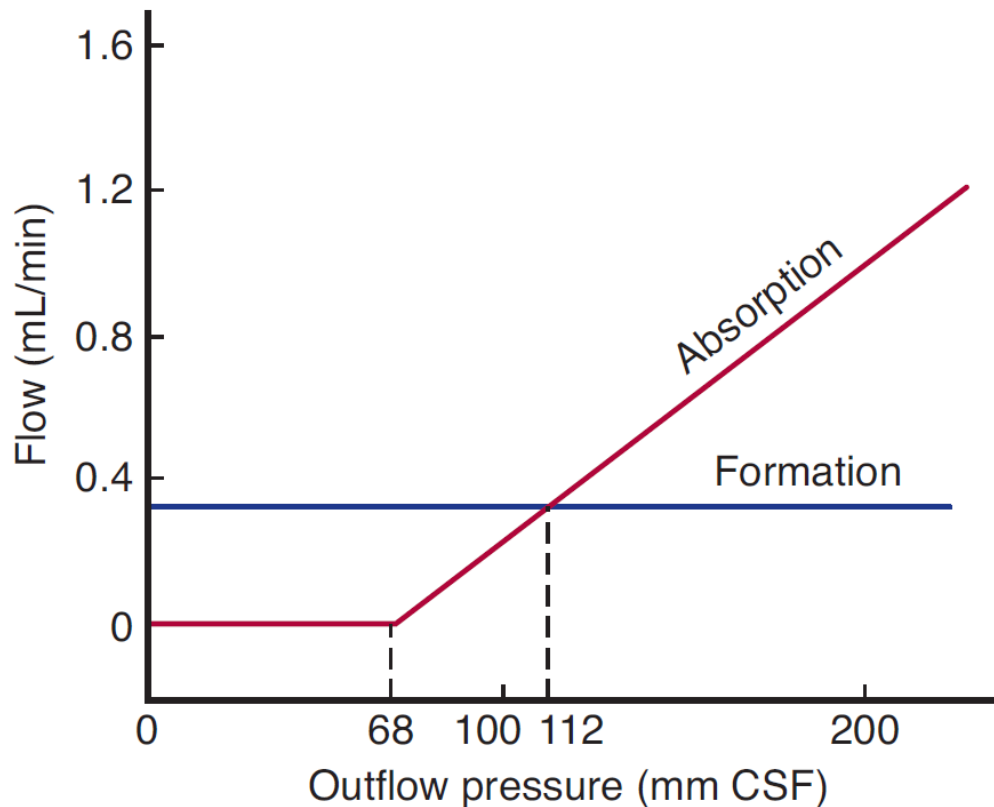
- ochrana mozku  
(spolu s mozkovými plenami)



Ganong's Review of Medical Physiology,  
23<sup>rd</sup> edition

# Mozková cirkulace

- Mozkomíšní mok



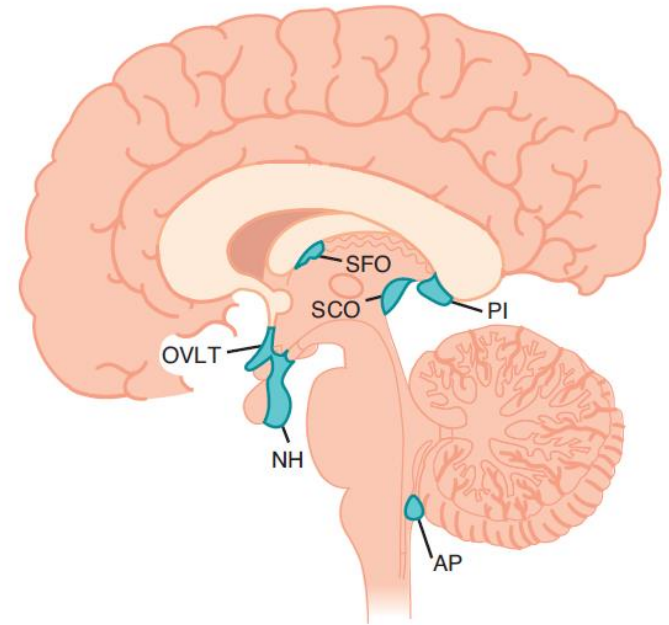
Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

# Mozková cirkulace

- **Paraventriculární orgány**

~ oblasti mozku, kde **chybí hematoencefalická bariéra** (fenestrované kapiláry)

- sekrece **polypeptidů** do oběhu (oxytocin, vazopresin, ...),
- **chemorecepční zóny** (AP)
- **osmorecepční zóny** (OVLT)



Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.




# Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem

## Ketyho metoda

- Fickův princip, metoda indikátorového plynu
- oxid dusný  $N_2O$

množství  $N_2O$  ve venózní krvi


$$\text{průtok krve mozkiem} = \frac{N_2O \text{ extrahovaný mozkiem z krve} / \text{čas}}{\text{průměrný arteriovenózní rozdíl } N_2O}$$

→ průměrný průtok všemi perfundovanými oblastmi !

# Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem - regionální  
PET (pozitronová emisní tomografie)  
fMRI (funkční magnetická rezonance)

# Cirkulace splanchnikem

# Cirkulace splanchnikem

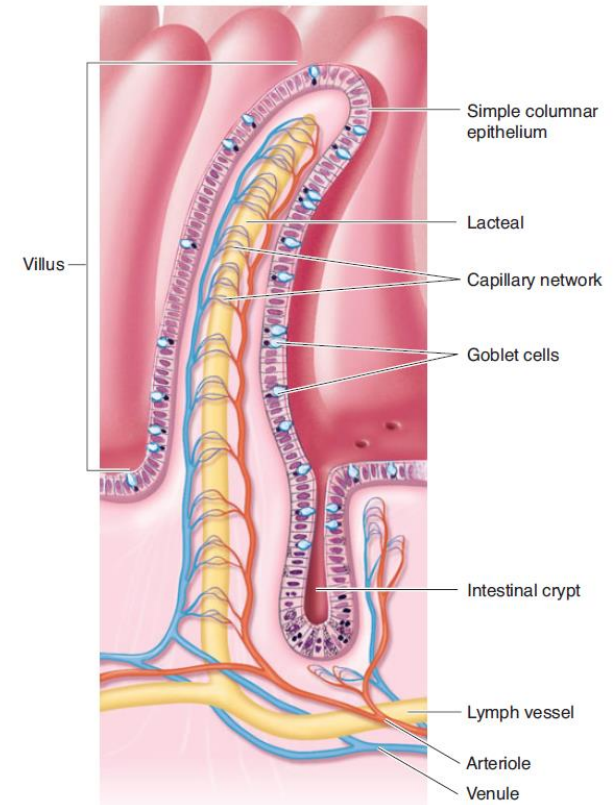
- průtok GIT včetně jater a slinivky
- průtok slezinou
- Hlavní funkční role:
  - metabolické funkce trávicího ústrojí
  - rezervoár krve
  - speciální (např. slezina – odstraňování a degradace starých/poškozených erytrocytů)

# Cirkulace splachnikem

- Rezervoár krve
- v klidu zhruba 20 % celkového objemu krve
- bohatá inervace sympatickými vazokonstrikčními vlákny -  $\alpha$  rec. (přesun až 350 ml krve do systémového oběhu během několika minut !)

# Cirkulace splanchnikem

- **Střevní oběh**  
(*a. coeliaca, a. mesenterica superior a inferior*)
- submukózní pleteň, větve do svaloviny i do klků
- protiproudová výměna látek



Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

# Cirkulace splachnikem


- **Střevní oběh**

(*a. coeliaca, a. mesenterica superior a inferior*)

- regulace krevního průtoku:

- **metabolická vazodilatace** (mediátory: adenosin,  $\downarrow [K^+]_e$  a  $\uparrow$  osmolarity)
- **nervová regulace** – téměř výlučně sympatikus, více  $\alpha$  než  $\beta$  rec. → převažuje **vazokonstrikce**

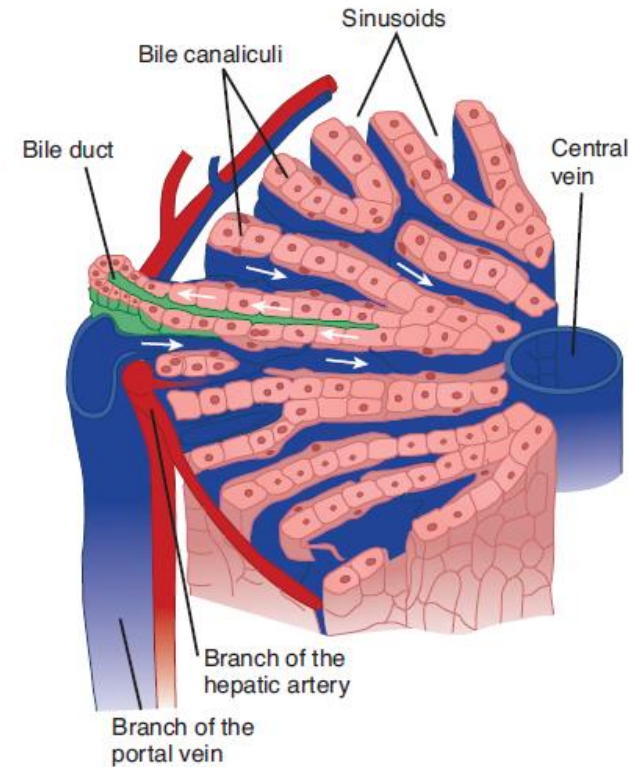
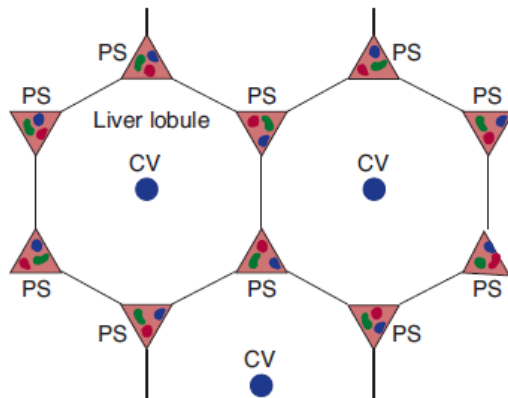
# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- 25 % srdečního výdeje
  - $\frac{3}{4}$  *v. portae*,  $\frac{1}{4}$  *a. hepatica*  
  
přísun O<sub>2</sub>
- **portální oběh:**
  - dvě kapilární řečiště v sérii (střevní klky, jaterní sinusy)
  - snížený obsah O<sub>2</sub> → **nutriční jaterní oběh** - *a. hepatica*



# Cirkulace splanchnikem

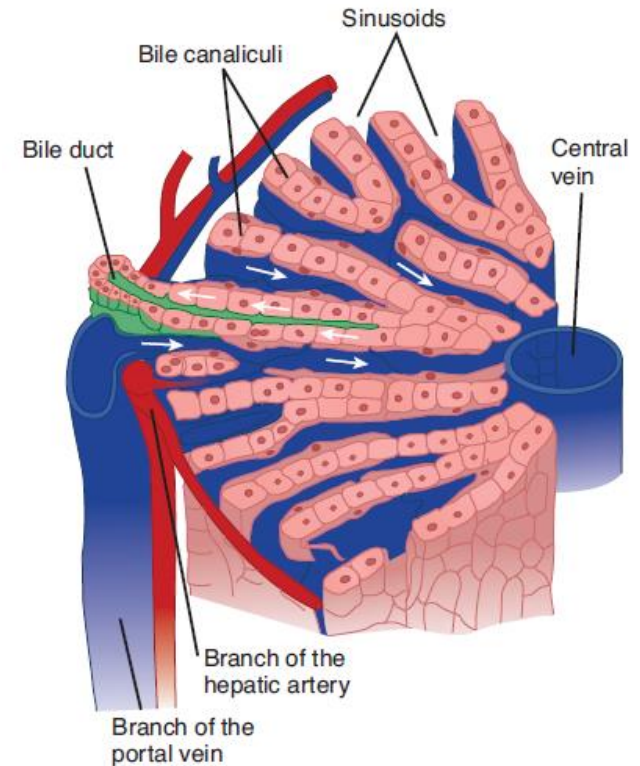
- **Jaterní oběh (*v. portae, a. hepatica*)**
- funkční jednotka - acinus



Ganong's Review of  
Medical Physiology,  
23<sup>rd</sup> edition

# Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh (*v. portae, a. hepatica*)**
- tlaky:
  - *a. hepatica*: 90 mmHg
  - *v. hepatica*: 5 mmHg
  - *v. portae*: 10 mmHg
  - sinusy: 2.25 mmHg



Ganong's Review of  
Medical Physiology,  
23<sup>rd</sup> edition

# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- inverzní regulace toku ve *v. portae* a *a. hepatica*:
  - mezi jídly: **průtok *v. portae* malý**, adenosin tvořen konstantně, méně odplavován → **dilatace terminálních jaterních arteriol**
  - po jídle: **průtok *v. portae* roste**, adenosin rychleji odplavován → **konstrikce jaterních arteriol**, větší průtok ve *v. portae* otvírá doposud kolabované sinusoidy
- **vzrůst jaterního tlaku (cirhóza) → ascites**

# Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- Regulace průtoku:
  - **nervová**: symp. vazokonstrikční vlákna –  $\alpha$  rec.
  - **metabolická**: adenosin → **vazodilatace**
  - **pasivní**:  $\uparrow$  TK → pasivní dilatace větví *v. portae*  
→  $\uparrow$  objem krve v játrech  
*městnavé srdeční selhání*  
*difúzní aktivace sympatiku při  $\downarrow$  TK*
- Pro funkci jater je **nezbytný dostatečný přísun  $O_2$** ! -  
při  $\downarrow$  průtoku →  $\uparrow$  extrakce  $O_2$

# Cirkulace splanchnikem

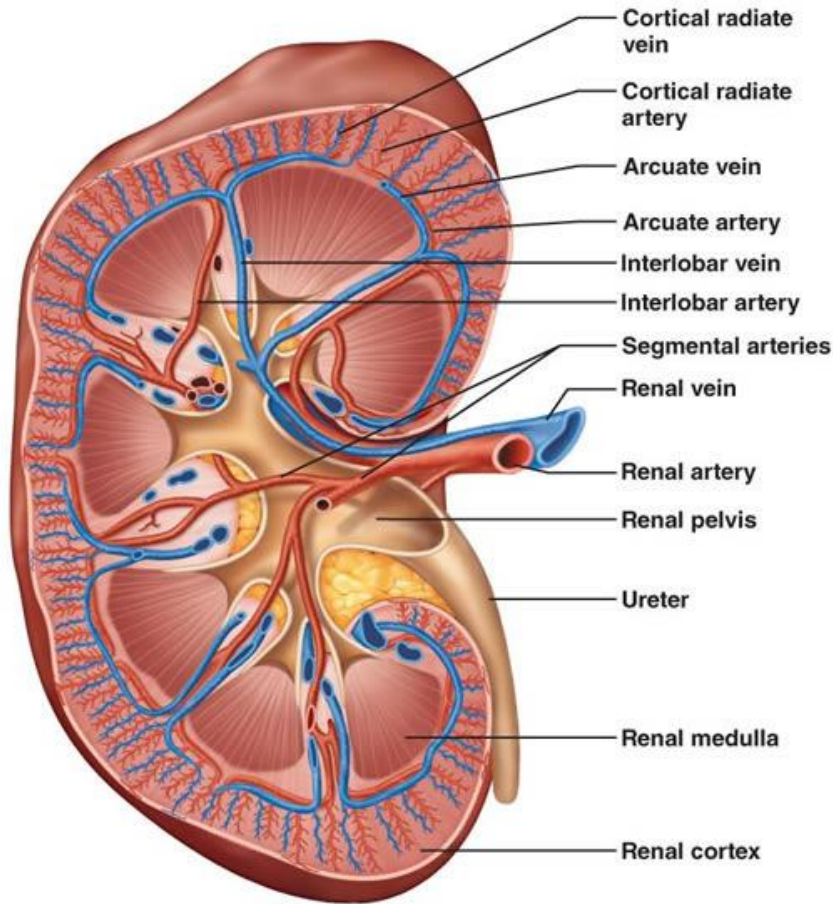
- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- jaterní lymfatický oběh
  - tvorba téměř  $\frac{3}{4}$  tělesné lymfy
  - lymfa bohatá na bílkoviny (plazmatické bílkoviny tvořené v hepatocytech + bílkoviny z plazmy - vysoká propustnost stěny sinusů)

# Renální cirkulace

# Renální cirkulace

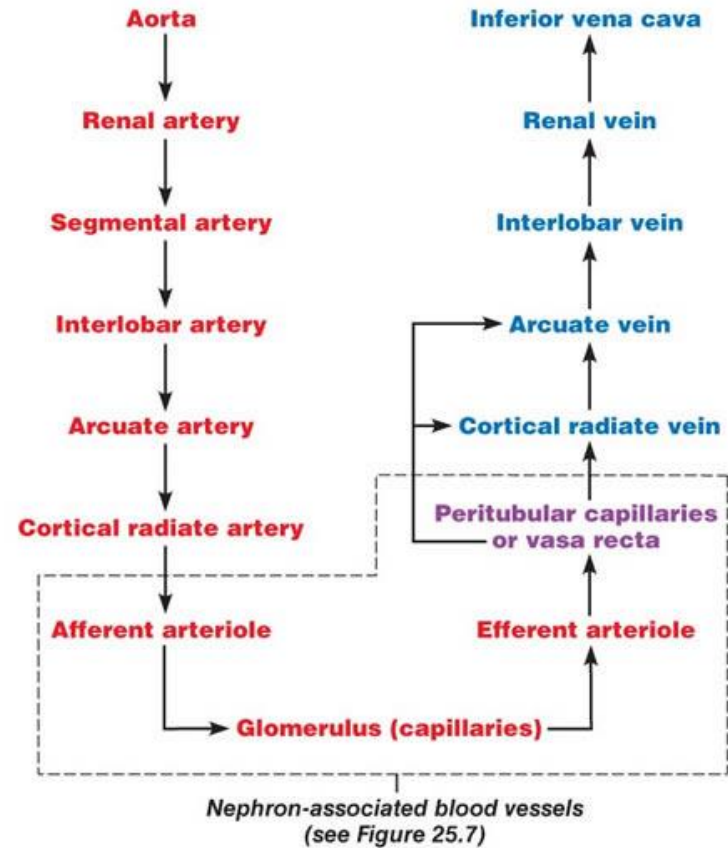
- hlavní funkce ledvin
- **Vysoký filtrační výkon vyžaduje adekvátní prokrvení!**
  - ledviny tvoří cca 0,4 % hmotnosti těla
  - průtok 1,2 l/min, ~25 % srdečního výdeje
- rozložení průtoku **nerovnoměrné**, většina protéká kůrou (glomeruly – filtrace)

# Renální cirkulace



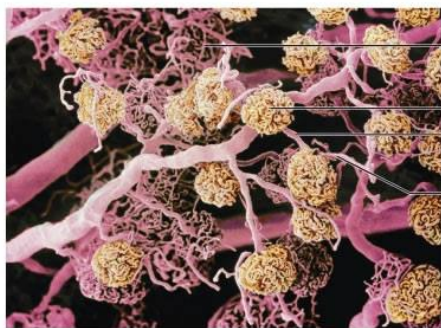
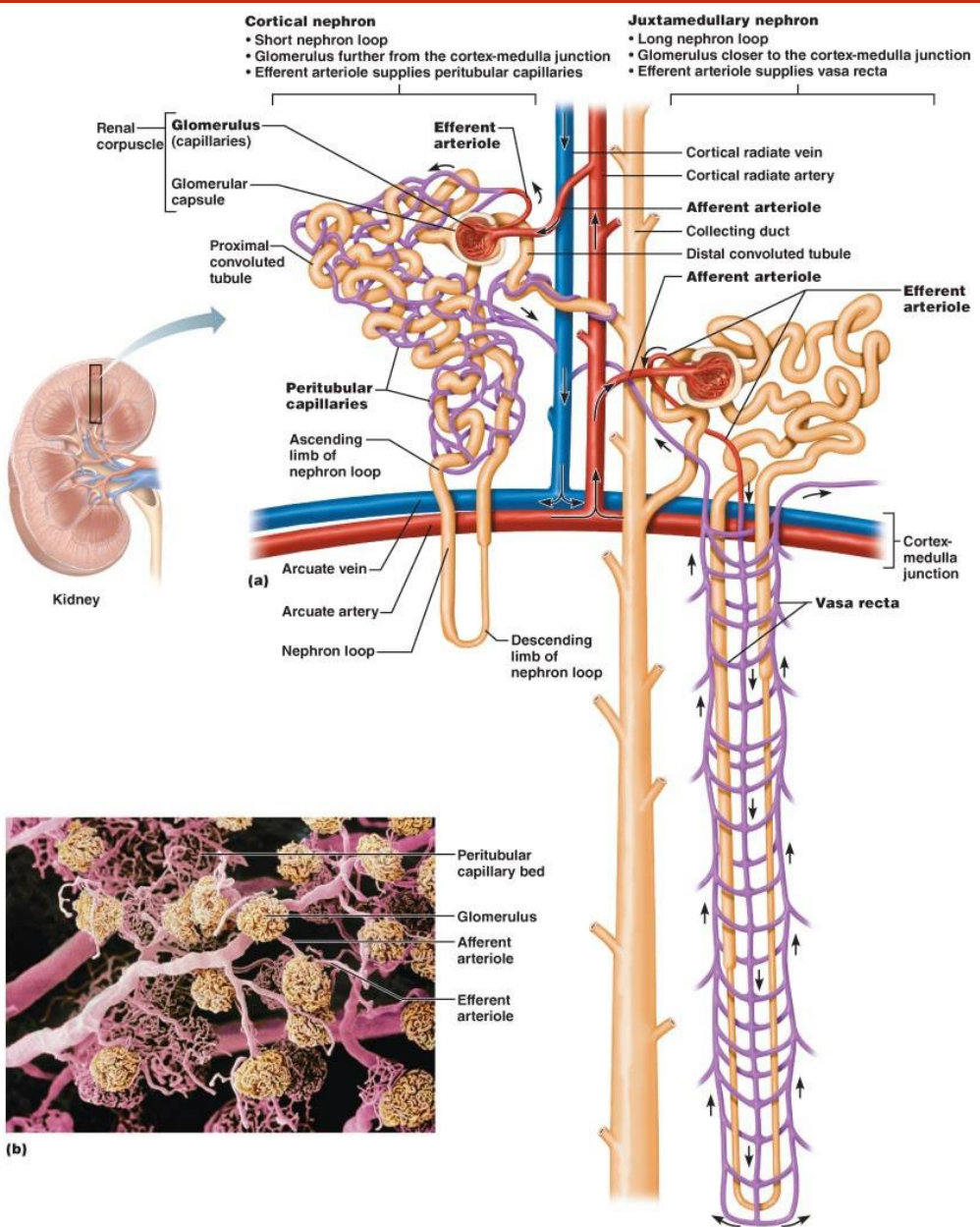
(a) Frontal section illustrating major blood vessels

© 2013 Pearson Education, Inc.

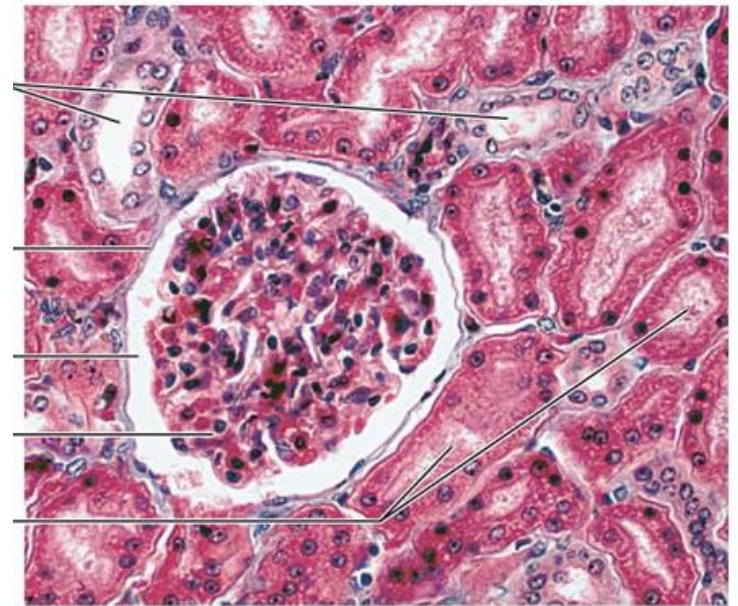
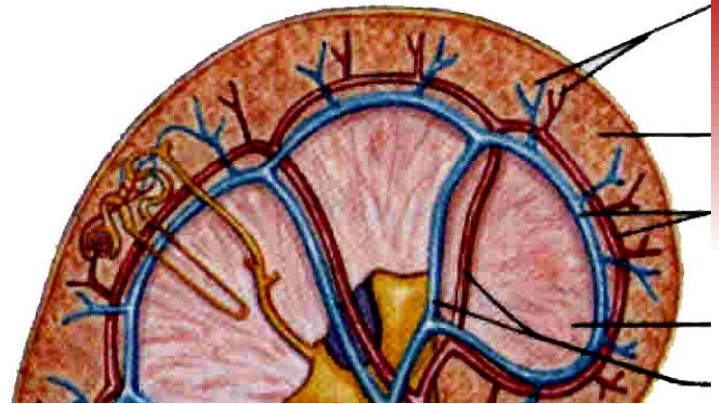


(b) Path of blood flow through renal blood vessels



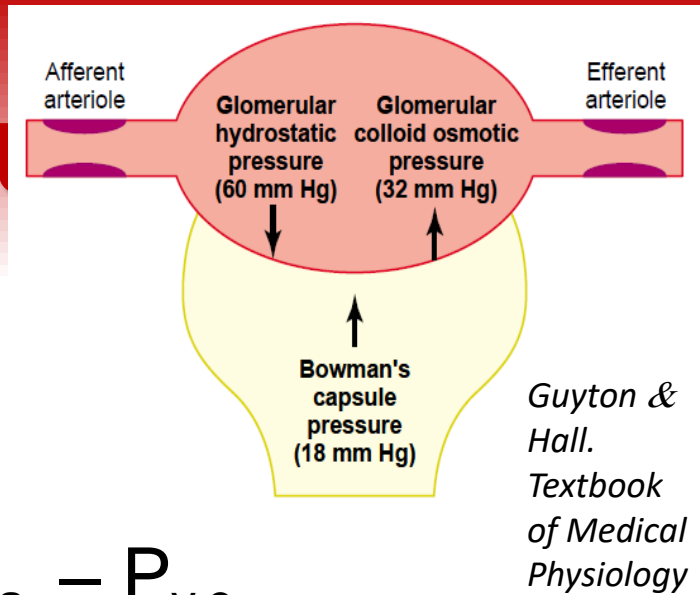


(b)



f renal cortical tissue (180x)

# Renální cirkulace



- *v. aff.*, *v. eff.*

- průtok krve glomerulem = 
$$\frac{P_{v.a.} - P_{v.e.}}{R_{v.a.} + R_{v.e.} + R_{g.k.}}$$

- **vzestup odporu** ve *vas aff.* či *vas eff.* **sníží průtok** ledvinou (pokud je stabilní arteriální tlak)
- **řídí glomerulární filtrační tlak:**

konstrikce *vas aff.* → ↓ tlaku v glomerulu → ↓ filtrace  
konstrikce *vas eff.* → ↑ tlaku v glomerulu → ↑ filtrace

# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**
  - 1) Myogenní autoregulace
  - 2) Nervová regulace
  - 3) Humorální regulace

# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

- 1) **Myogenní autoregulace**

- dominuje
- zajišťuje stabilní filtrační činnost ledvin udržováním stabilního krevního průtoku ledvinami při kolísajícím systémovém krevním tlaku

# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

## 2) Nervová regulace

- podřízena potřebám systémového oběhu

- **sympatikus - noradrenalin**

lehká zátěž/vzpřímená polohy těla → ↑ sympatického tonu → ↑ tonu v. aff. i eff. → ↓ průtoku ledvinami, ale bez snížení GFR (↑ FF)

sympatický tonus významně ↑ **během anestezie a vlivem bolesti** - GFR pak může ↓

# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

## 3) Humorální regulace

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin
- **noradrenalin, adrenalin**  
→ konstriktce aff. a eff. arterioly → ↓ průtok krve ledvinami a GFR

v souladu se ↑ aktivitou sympatiku (význam tedy malý s výjimkou vážných stavů, např. závažného krvácení)

# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

## 3) Humorální regulace

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin
- **noradrenalin, adrenalin**  
→ konstrikce aff. a eff. arterioly → ↓ průtok krve ledvinami a GFR
- **endotelin**  
→ konstrikce aff. a eff. arterioly → ↓ průtok krve ledvinami a GFR

uvolňován lokálně z poškozeného endotelu (fyziologicky význam při hemostáze; patologicky je jeho hladina zvýšena např. při preeklampsii, akutním selhání ledvin, chronické urémii)

# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

## 3) Humorální regulace

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin
- **NO**  
kontinuální bazální produkce → vazodilatace v ledvině → stabilní úroveň průtoku krve ledvinami a GFR
- **prostanglandiny (PGE<sub>2</sub>, PGI<sub>2</sub>), bradykinin**  
→ vazodilatace  
omezují vliv vazokonstrikčních působků, což zabraňuje velkému ↓ průtoku krve ledvinou a GFR  
nesteroidní antiflogistika během stresu (chirurgický výkon, ↓ objemu tekutin) může → významný ↓ GFR

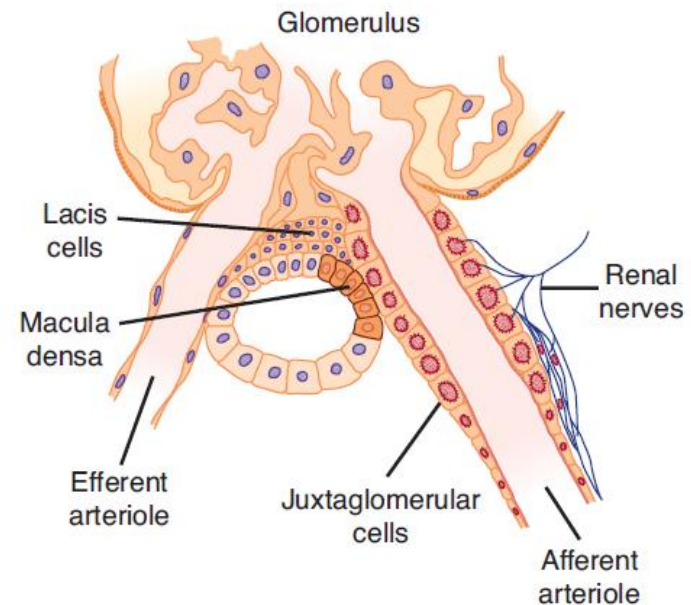


# Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

- 3) **Humorální regulace**

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin
    - **Renin-angiotensinový systém**

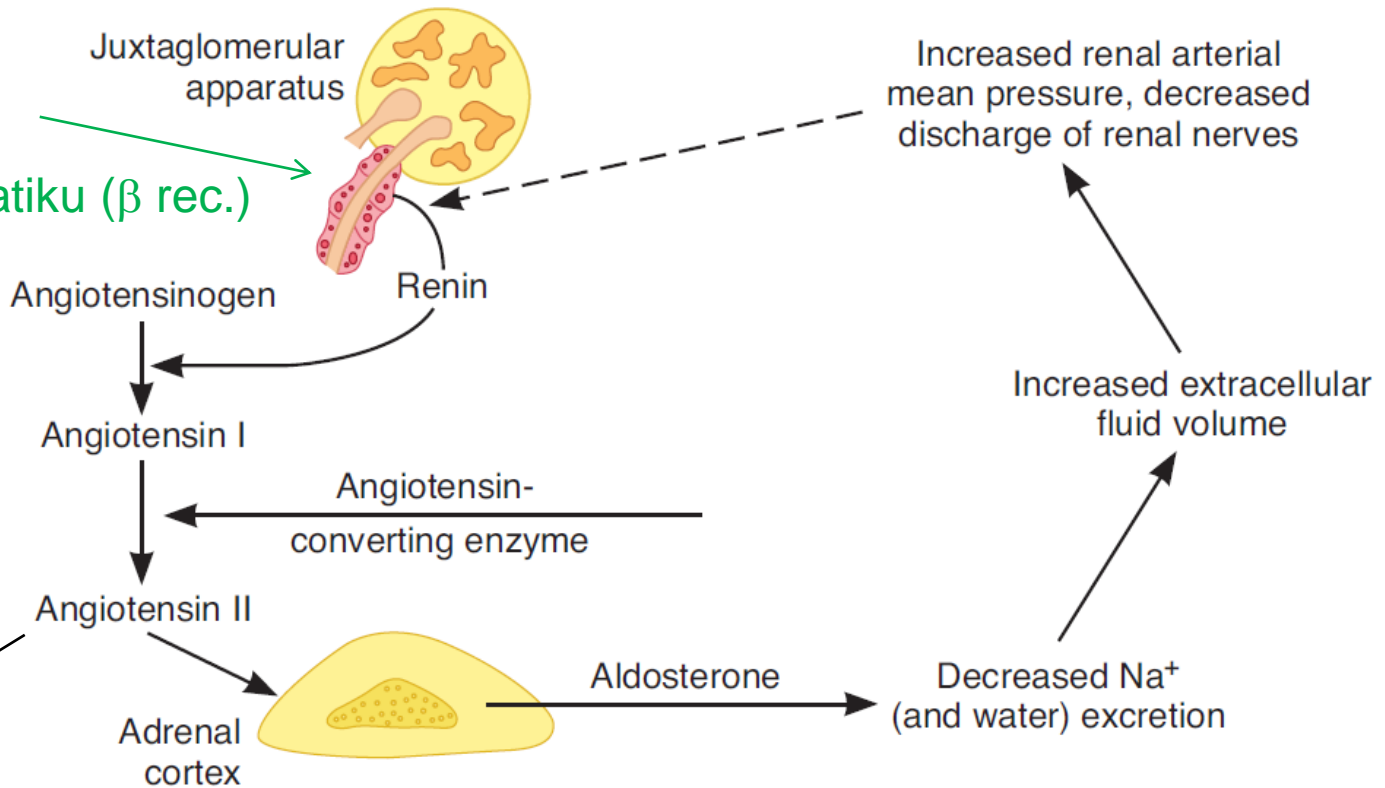


Ganong's Review of Medical  
Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

# Renální cirkulace

## Renin-angiotensinový systém

- ↓  $\text{Na}^+$  v plazmě
- ↓ TK
- ↑ aktivita sympatiku ( $\beta$  rec.)



vazokonstrikce  
žízeň, ADH

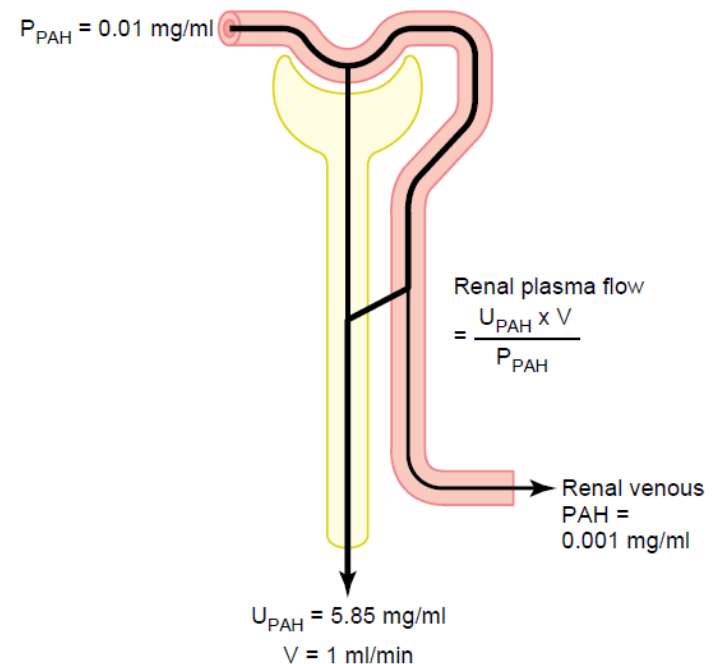
# Renální cirkulace

## Stanovení rychlosti průtoku plazmy ledvinami (RPF)

*Clearance* látky, která je v glomerulotubulárním aparátu nefronu plně očištěna z plazmy.

PAH (paraaminohippurová kyselina) - očištěna z 90%

$$RPF = \frac{5,85 \times 1 \text{ mg/min}}{0,01 \text{ mg/ml}} = 585 \text{ ml/min}$$



*Guyton & Hall. Textbook of Medical Physiology*

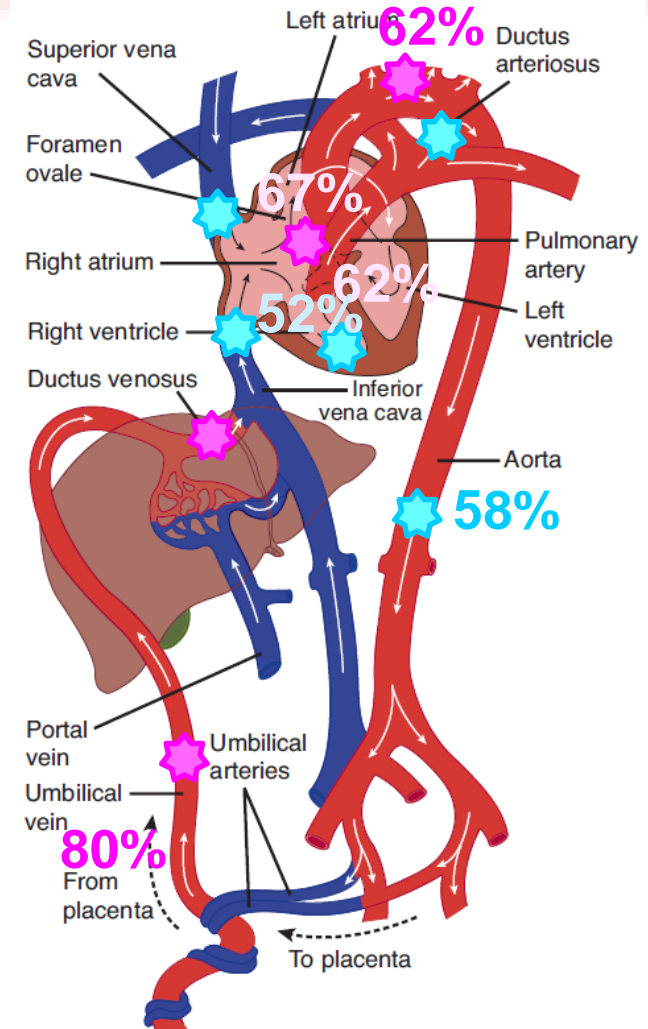
Korekce na extrakční poměr PAH ( $E_{PAH}$ ):

$$E_{PAH} = \frac{P_{PAH} - V_{PAH}}{P_{PAH}} = 0,9 \longrightarrow RPF = \frac{585 \text{ ml/min}}{0,9} = 650 \text{ ml/min}$$

# Fetální cirkulace

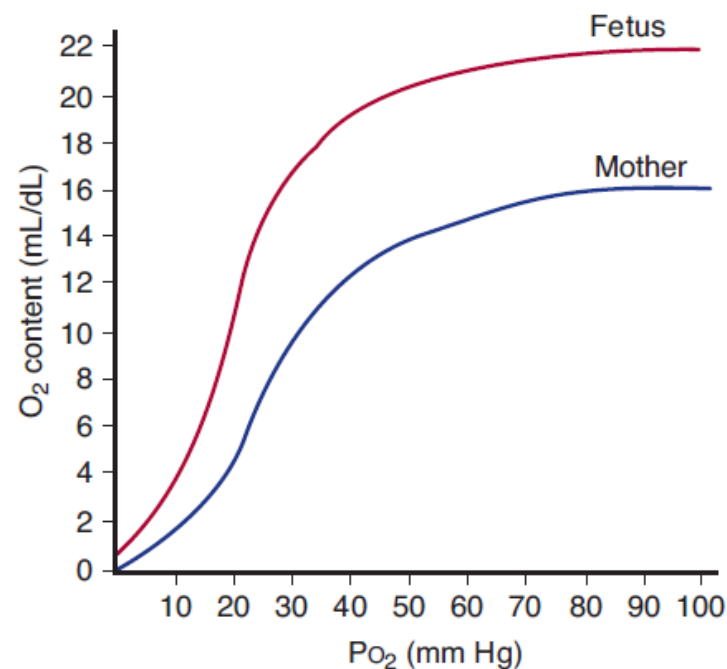
# Fetální cirkulace

- placenta, pupeční žíla
- játra, *ductus venosus*
- *crista dividens*, *foramen ovale*
- krevní zásobení hlavy a horních končetin
- dolní a horní dutá žíla
- pravá komora
- *ductus arteriosus*
- aorta – zásobení dolní poloviny těla + 60 % srdečního výdeje do placenty



# Fetální cirkulace

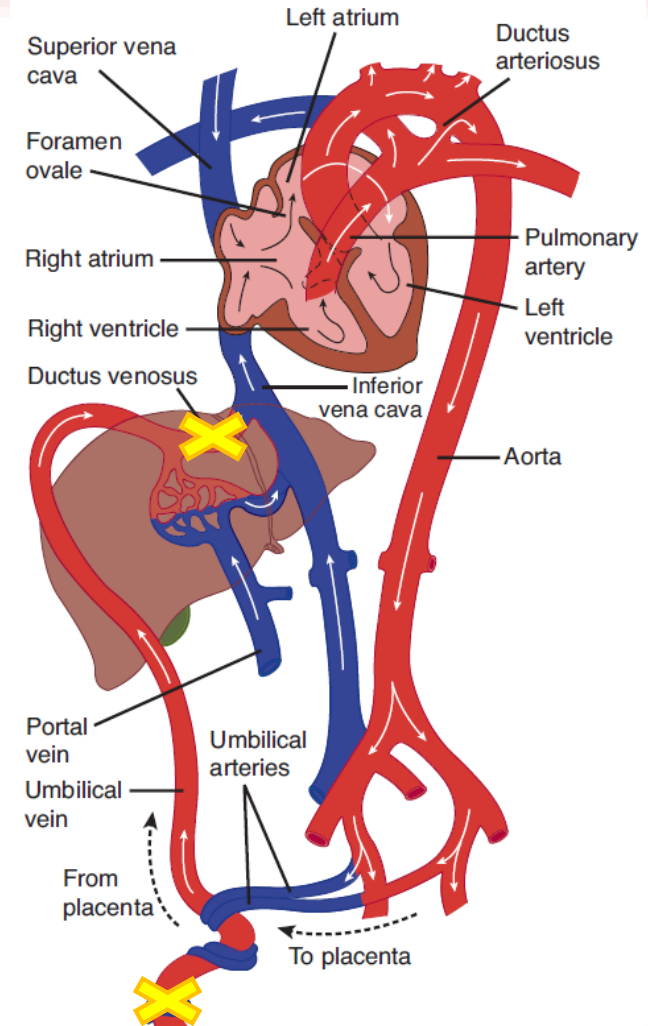
- fetální hemoglobin
- krátkodobá hypoxie
- delší hypoxie
- silná svalová stěna pupečních cév



Ganong's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.

# Fetální cirkulace

- **Změny po porodu**
- **Uzavření pupeční žíly**
  - náhlé zvýšení periferního odporu a krevního tlaku
  - stah svaloviny *ductus venosus* a jeho uzavření
- **První nádech** (vlivem asfyxie a ochlazení těla)
  - pokles odporu plicního řečiště
  - do plic mnohem více krve



# Fetální cirkulace

- **Změny po porodu**
- **Pokles tlaku v pravé síni a jeho navýšení v síni levé díky:**
  - ↑ plnění levé síně krví z plic
  - ↓ žilní návrat do pravé síně díky uzávěru pupeční žíly
  - levá komora čerpá proti zvýšenému odporu v aortě
- **Uzávěr *foramen ovale***
- **Uzávěr *ductus arteriosus***

